

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Пискунова Максима Владимировича «Фазовые превращения капель воды с твердыми нерастворимыми включениями при высокотемпературном нагреве», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертация Пискунова М.В. посвящена экспериментальному исследованию испарения капель воды с твердыми включениями при высокотемпературном нагреве. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка условных обозначений и символов, списка цитируемой литературы. Диссертация изложена на 210 страницах, включает 77 рисунков, 12 таблиц и список из 242 литературных источников.

**Во введении** сформулированы цель и задачи исследований, обоснована актуальность темы диссертационной работы, указаны практическая значимость и новизна полученных результатов.

**В первой главе** изложен аналитический обзор литературы и описано современное состояние теоретических и экспериментальных исследований фазовых превращений неоднородных капель, пленок и струй жидкости.

**Во второй главе** представлены описания и схемы созданных экспериментальных стендов, разработанные экспериментальные методики и методики обработки данных, приведена оценка погрешностей результатов выполненных измерений. Описаны способы формирования высокотемпературной среды, параметры высокоскоростной видеосъемки, метод Particle Image Velocimetry (PIV), техника ввода капель в высокотемпературную среду, характеристики термодинамических измерений. Описана пошаговая процедура проведения экспериментов.

**В третьей главе** приведены результаты экспериментальных исследований испарения неоднородных капель водных суспензий в высокотемпературных газовых средах. Впервые обнаружен и проанализирован эффект взрывного дробления неоднородной капли жидкости с соразмерным твердым непрозрачным включением. Определены условия, при которых этот эффект устойчиво реализуется. Зарегистрированы характерные времена существования неоднородных капель жидкости в высокотемпературных средах. Установлены количественные характеристики процесса взрывного дробления, а именно: количество и размеры отделившихся капель. Разработаны рекомендации по использованию полученных результатов и дальнейшему развитию исследований в данном направлении.

**Актуальность избранной темы.** Газокапельные смеси широко используются в различных высокотемпературных технологиях. Одним из важнейших способов пожаротушения является распыление воды под высоким давлением, при этом наблюдается высокая эффективность гетерогенных газокапельных систем с интенсификацией фазовых

превращений на границах раздела сред. Введение неметаллических и металлических включений в жидкости, создание суспензий, увеличивает критическую плотность теплового потока, отводимого от теплообменной поверхности при кипении и испарении жидкостей, и обеспечивает интенсификацию теплообмена тушащей жидкости с продуктами сгорания в зоне пламени. Таким образом, тема исследований является актуальной.

**Обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций.**

Достоверность полученных результатов обусловлена тем, что для экспериментов была использована сертифицированная и проверенная аппаратура, апробированные методики измерений, а также проведением специальных тестовых экспериментов. Результаты подтверждаются сравнением с известными результатами других авторов.

**Научная новизна** полученных результатов не вызывает сомнений. Следующие научные результаты впервые получены в данной работе и являются оригинальными:

- Экспериментально установлен новый физический эффект – взрывное разрушение неоднородной, с соразмерным твердым непрозрачным включением, капли воды при её нагреве в высокотемпературных газовых средах, воздухе и типичных продуктах сгорания.

- С использованием высокоскоростной видеосъемки и метода PIV изучены закономерности и условия фазовых превращений капель жидкостей с твердыми включениями в высокотемпературной газовой среде. Установлены стадии интенсивного парообразования неоднородных капель воды с взрывным разрушением

- Зарегистрированы процессы зарождения и эволюции парового слоя на внутренних границах раздела сред «поверхность твердого включения – слой жидкости». Установлены масштабы влияния паровых слоев на внутренних и внешних границах раздела сред на времена существования неоднородных капель жидкости в потоке продуктов сгорания топлив.

- Выделено влияние радиационной составляющей передачи тепла на характеристики процессов испарения и кипения.

- Определены характерные соотношения площадей испарения жидкости до и после взрывного дробления неоднородных капель при высокотемпературном нагреве.

**Практическая значимость.** Полученные результаты экспериментов и их анализа будут использоваться для разработки и совершенствования перспективных высокотемпературных газопарокапельных технологий таких как: термическая или огневая очистка воды; пожаротушение с применением неоднородных капельных суспензий; эффективное охлаждение теплонагруженных поверхностей ограждающих конструкций энергетического оборудования.

**В качестве замечаний** следует отметить:

1. Явление взрывного разрушения капель при интенсивном лазерном облучении капель наблюдалось и исследовалось во многих работах в конце прошлого века, при исследованиях оптических свойств

газокапельных сред. В последнее время опубликованы результаты исследований взрывного вскипания капель в условиях эффекта Лейденфроста группой проф. P. Colinet. К сожалению, автор диссертации не упоминает эти исследования и, соответственно не сравнивает свои результаты с результатами этих работ.

Bukzdorf, N.V., Zemlyanov, A.A., Kuzikovskii, A.V., Khmelevtsov, S.S. The explosion of a spherical drop under the action of laser radiation (1975) *Soviet Physics Journal*, 17 (5), pp. 621-624.

Carls, J.C., Brock, J.R. Explosive vaporization of single droplets by lasers: Comparison of models with experiments (1988) *Optics Letters*, 13 (10), pp. 919-921.

Carls, J.C., Brock, J.R. Explosion of a water droplet by pulsed laser heating (1987) *Aerosol Science and Technology*, 7 (1), pp. 79-90.

Moreau, F., Colinet, P., Dorbolo, S. Leidenfrost explosions (2013) *Physics of Fluids*, 25 (9), art. no. 091111.

2. В третьей главе диссертации говорится об инфракрасном излучении от галогеновой лампы, которое проходит через горизонтальный слой воды толщиной 1 мм, нагревает графитовую подложку так, что возникает кипение. При этом в диссертации ничего не говорится о спектре излучения источника света и коэффициенте поглощения воды в зависимости от длины волны излучения.

3. В диссертации приводятся и анализируются термограммы нагреваемых испаряющихся капель, полученные с помощью инфракрасной камеры, при этом марка камеры и ее основные характеристики, такие как: спектральный диапазон регистрируемого излучения, точность измерений и др. не указаны.

4. Текст диссертации написан достаточно ясно и грамотно. Однако, местами используются заимствованные слова, которые не совсем точно передают смысл излагаемого материала: на стр. 78 «Рисунок 3.2.6. – Тренды температур...», далее автор пишет: «кривые получены в результате усреднения экспериментальных данных», более уместно писать: «Зависимости температур от времени нагрева»; на стр. 111: «Рисунок 3.6.8. – Скetch, иллюстрирующий...». Слово скetch употреблено, на мой взгляд, не совсем удачно, можно было просто написать: «Иллюстрация...».

5. Подписи и надписи рисунков 1.2 и 1.3 сделаны на английском языке. На рис. 2.4.4. внизу красными стрелками показано «Направление движения теплового потока» О каком тепловом потоке идет речь, или имеется ввиду направление движения потока продуктов сгорания?

Указанные замечания не носят принципиального характера, не влияют на достоверность полученных результатов и не снижают ценность диссертационной работы М.В. Пискунова, выполненной на достаточно высоком научном уровне. Полученные результаты обладают новизной и их достоверность не вызывает сомнения.

Основные результаты диссертации опубликованы в 23 работах, в том числе 10 статей в ведущих рецензируемых российских и международных журналах, рекомендованных ВАК (Письма в ЖТФ, *Journal of Engineering Thermophysics*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, *Thermal Science*). Результаты,

приведенные в диссертационной работе, прошли всестороннюю апробацию на многочисленных российских и международных конференциях. Автореферат составлен с соблюдением установленных требований и в полной мере отражает содержание диссертации.

Тематика и содержание диссертации М.В. Пискунова отвечают паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника по формуле специальности и области исследования.

Диссертация М. В. Пискунова является завершенной научно-исследовательской работой, совокупность новых результатов и положений которой можно квалифицировать как решение научной задачи, имеющей существенное значение для теплофизики – испарение капель воды с непрозрачными включениями и отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Пискунов Максим Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

#### **Официальный оппонент,**

Старший научный сотрудник Лаборатории интенсификации процессов теплообмена  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)  
Тел. +79139058917, e-mail: [marchuk@itp.nsc.ru](mailto:marchuk@itp.nsc.ru)  
д.ф.-м.н., (01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника), доцент

30.11.2016 г.

Марчук Игорь Владимирович

Почтовый адрес: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, д. 1.  
Сайт: <http://www.itp.nsc.ru/>  
Тел.: (383)330-70-50, [aleks@itp.nsc.ru](mailto:aleks@itp.nsc.ru)

Подпись Марчука Игоря Владимировича удостоверяю:  
Ученый секретарь ИТ СО РАН,  
д.ф.-м.н.

Куйбин Павел Анатольевич

Место для гербовой печати

